

Inhalt

1	Einleitung	11
1.1	Digital- und Analogtechnik	11
1.2	Einteilung in Grundsaltungen	12
1.2.1	Zweipol	12
1.2.2	Vierpol	12
2	Grundlagen der Halbleiterphysik	15
2.1	Leiter und Nichtleiter	15
2.2	Leitfähigkeit von Metallen	17
2.3	Leitfähigkeit von reinen Halbleitern	17
2.4	Störstellenleitung von Halbleitern	18
2.5	pn-Übergang	21
2.5.1	pn-Übergang in Sperrrichtung	22
2.5.2	pn-Übergang in Durchlassrichtung	23
3	Widerstände, Kondensatoren, Drosselspulen	25
3.1	Widerstände	25
3.1.1	Drahtwiderstände	26
3.1.2	Schichtwiderstände	27
3.1.3	Nennwert und Kennzeichnung von Widerständen	27
3.1.4	Abstufung der Widerstände	29
3.1.5	Änderung des Widerstands	31
3.1.6	Frequenzabhängigkeit und Rauschen von Widerständen	33
3.2	Veränderbare Widerstände	34
3.3	Widerstände mit physikalisch abhängigen Werten	34
3.3.1	Heißeiter, NTC-Widerstände	34
3.3.1.1	Technologie	35
3.3.1.2	Temperaturverhalten von Heißeitern	35
3.3.1.3	Anwendung von Heißeitern	35
3.3.2	Kaltleiter, PTC-Widerstände	38
3.3.2.1	Technologie	38
3.3.2.2	Temperaturverhalten beim Kaltleiter	38
3.3.2.3	Anwendung von Kaltleitern	42
3.3.3	Spannungsabhängige Widerstände, VDR-Widerstände	43
3.3.3.1	Technologie	43

3.3.3.2	Spannungsabhängigkeit von VDR-Widerständen	43
3.3.3.3	Anwendung von VDR-Widerständen	44
3.3.4	Magnetisch abhängige Widerstände	44
3.3.5	Dehnungsmessstreifen	46
3.3.5.1	Technologie	46
3.3.5.2	Widerstandsänderung	47
3.3.5.3	Anwendungen	47
3.3.6	Fotowiderstände	48
3.4	Kondensatoren	48
3.4.1	Dielektrikum	49
3.4.2	Verluste und Güte von Kondensatoren	50
3.4.3	Bauformen von Kondensatoren und Verwendungszweck	50
3.4.4	Keramik-Kondensatoren	52
3.4.5	Wickelkondensatoren	52
3.4.6	Glimmerkondensatoren	52
3.4.7	Elektrolytkondensatoren	52
3.4.8	Sperrschicht-Kondensator	53
3.4.9	Anwendung	53
3.5	Hallgeneratoren	57
3.6	Drosselspulen	58
4	Dioden	61
4.1	Eigenschaften der Dioden	61
4.1.1	Arbeitspunktbestimmung	63
4.1.2	Dynamisches Verhalten von Dioden	64
4.1.2.1	Einschaltverhalten	64
4.1.2.2	Ausschaltverhalten	65
4.2	Spezielle Dioden	66
4.2.1	Zener-Dioden	66
4.2.2	Lumineszenzdioden	68
4.2.3	Schottky-Dioden	69
4.2.3	Kapazitäts-Dioden	70
4.2.5	Tunnel-Diode	72
5	Bipolartransistoren	75
5.1	Funktion des npn-Transistors	75
5.2	Funktion des pnp-Transistors	76
5.3	Beziehung zwischen Basis-, Emitter- und Kollektorstrom	77
5.4	Stromverstärkung des Transistors	77
5.5	Basiswiderstand eines Transistors	78

5.6	Transistorkennlinien	78
5.6.1	Kennlinien des npn-Transistors	79
5.6.2	Kennlinien des pnp-Transistors	85
5.7	Transistorgrundschaltungen	88
5.7.1	Emitterschaltung	88
5.7.2	Kollektorschaltung	88
5.7.3	Basisschaltung	89
5.7.4	Grundschaltungen im Vergleich	89
5.8	Vierpolgleichung und Ersatzschaltbild des Transistors	90
5.9	Betriebspunkte bei Transistorschaltungen	92
5.9.1	Betriebspunkteinstellung bei Kleinsignaltransistoren	92
5.9.2	Betriebspunktwahl bei Wechselspannungsverstärkern	94
5.10	Stabilisierung des Arbeitspunkts durch Gleichstrom- bzw. Gleichspannungsgegenkopplung	97
5.11	Betriebsverhalten von Konstantstromquellen	99
5.12	Betriebsverhalten von Differenzverstärkern	101
5.13	Zweistufige Transistorverstärker mit Gegenkopplung	103
5.13.1	Stromgegenkopplung	104
5.13.2	Spannungsgegenkopplung	105
5.14	Transistor als Schalter	105
5.15	Verlustleistung beim Transistor	109
5.15.1	Auslegung von Kühlkörpern	110
5.16	Spezielle Transistorschaltungen	112
5.16.1	Darlington-Transistor	112
5.16.2	Optokoppler	112
6	Feldeffekt-Transistoren (FET)	115
6.1	Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren	117
6.2	Isolierschicht-Feldeffekt-Transistoren	118
6.2.1	Verarmungstyp, n-Kanal	118
6.2.2	Verarmungstyp, p-Kanal	119
6.2.3	Anreicherungstyp, n-Kanal	120
6.2.4	Anreicherungstyp, p-Kanal	121
7	Gleichrichterschaltungen, Stromversorgungen	123
7.1	Gleichrichterschaltung	123
7.2	Stromversorgungen mit Spannungsstabilisierung	124
7.2.1	Einfache Stabilisierung mit Z-Diode	126
7.2.2	Spannungsstabilisierung mit Längstransistor	126
7.2.3	Spannungsstabilisierung mit zusätzlichem Transistorverstärker	127

7.2.4	Spannungsstabilisierung mit rückbiegender Kennlinie	128
7.3	Spannungsstabilisierung mit Festspannungsregler	130
7.3.1	Stabilisierte Ausgangsspannung mit Festspannungsregler	131
7.3.2	Spannungsstabilisierung mit Festspannungsregler und Leistungsverstärker	131
7.3.3	Spannungsstabilisierung mit Festspannungsregler und verstellbarer Ausgangsspannung	132
7.4	Spannungsstabilisierung mit Operationsverstärker	133
7.5	Schaltung zur bipolaren Spannungsversorgung	134
7.6	DC/DC-Wandler	135
7.6.1	DC/DC-Wandler mit umschaltbaren Kondensatoren	135
7.6.2	Aufwärtswandler	137
7.6.3	Sperrwandler	139
7.6.4	Gegentaktdurchflusswandler	141
8	Operationsverstärker	145
8.1	Eigenschaften von Operationsverstärkern	145
8.1.1	Eingangsstufe	145
8.1.2	Ausgangsstufe	146
8.1.3	Offsetspannung, Offsetstrom, Offsetspannungsabgleich	146
8.1.4	Frequenzgang	147
8.1.5	Temperaturstabilität, Betriebsspannungsunterdrückung, Langzeitstabilität	147
8.1.6	Gegentaktverstärkung, Gleichtaktunterdrückung	147
8.1.7	Vergleich idealer–realer Operationsverstärker	148
8.2	Aufbau eines realen Operationsverstärkers	148
8.3	Gegenkopplung	152
8.3.1	Bedeutung und Realisierung der Gegenkopplung	152
8.3.2	Signalflussbild einer einfachen Gegenkopplung	153
8.3.3	Serienspannungsgegenkopplung am Operationsverstärker	153
8.3.4	Parallelspannungsgegenkopplung bei Operationsverstärkern	155
8.3.5	Ausgangswiderstand von realen Operationsverstärkern	158
8.4	Schaltungen mit Operationsverstärkern	159
8.4.1	Invertierender Verstärker	160
8.4.2	Summierer mit Umkehrung	161
8.4.3	Integrierer mit Umkehrung	162
8.4.4	Differenziation mit Umkehrung	163
8.4.5	Nicht invertierender Verstärker	164
8.4.6	Impedanzwandler	165
8.4.7	Differenzverstärker	166

8.4.8	Instrumentenverstärker	168
8.5	Schmitt-Trigger	171
8.5.1	Nicht invertierender Schmitt-Trigger	171
8.5.2	Invertierender Schmitt-Trigger	172
8.6	Komparator	173
8.7	PID-Regler	174
8.8	Konstantstromquelle mit Operationsverstärker	176
8.9	Fehlerbetrachtung	177
8.9.1	Berücksichtigung der Offsetspannung beim Umkehrverstärker	177
8.9.2	Berücksichtigung des Offsetstroms bei der Dimensionierung des Umkehrverstärkers	178
8.10	Analoge Filter	180
8.10.1	Tiefpassfilter 1. Ordnung	180
8.10.1.1	Passives Tiefpassfilter 1. Ordnung	180
8.10.1.2	Aktiver Tiefpass mit invertierendem Verstärker	182
8.10.1.3	Aktiver Tiefpass mit nicht invertierendem Verstärker	183
8.10.2	Hochpassfilter 1. Ordnung	184
8.10.2.1	Passives Hochpassfilter 1. Ordnung	184
8.10.2.2	Aktiver Hochpass mit invertierendem Verstärker	186
8.10.2.3	Aktiver Hochpass mit nicht invertierendem Verstärker	187
8.11	Frequenzgeneratoren	188
8.11.1	Rechteck-/Dreieckgenerator	188
8.11.2	Sägezahngenerator	191
8.11.3	Sinusgenerator	192
8.12	Analoge Pulsweitenmodulation	194
8.13	Spannungsgesteuerter Oszillator	195
8.14	Unipolarbetriebene Operationsverstärker-Grundsaltungen	198
8.14.1	Lineare Grundsaltungen für den unipolaren Betrieb	198
8.14.2	Nicht lineare Grundsaltungen für den unipolaren Betrieb	201
9	Logikschaltungen	205
9.1	TTL-Technik	205
9.1.1	Definitionen für TTL-Schaltungen	211
9.2	CMOS-Technik	213
9.2.1	Gatterschaltungen	216
9.2.2	Schaltung mit Tristate-Ausgang	219
9.2.3	Analogschalter	220

10	Kippschaltungen	223
10.1	Astabiler Multivibrator mit diskreten Bauelementen	223
10.2	Monostabiler Multivibrator mit diskreten Bauelementen	227
10.3	Bistabiler Multivibrator mit diskreten Bauelementen	229
10.4	Astabiler Multivibrator mit Invertern	230
10.5	Monostabiler Multivibrator mit integrierten Schaltkreisen	234
11	Prinzipielle Funktionsweise von Digital/Analogwandlern	237
11.1	Digital/Analogumsetzer für BCD-Code	237
11.2	Digital/Analogumsetzer für Dual-Code	239
12	Prinzipielle Funktionsweise von Analog/Digitalwandlern	243
12.1	Analog/Digitalumsetzer nach dem Verfahren der schrittweisen Annäherung (Successive Approximation)	243
12.1.1	Halteverstärker	245
12.2	Analog/Digitalumsetzer nach dem Doppelintegrationsverfahren ..	246
12.3	Parallel-A/D-Umsetzer (Flashwandler)	249
Anhang	.....	251
Aufgabe 1	.....	251
Aufgabe 2	.....	254
Aufgabe 3	.....	257
Aufgabe 4	.....	261
Aufgabe 5	.....	263
Aufgabe 6	.....	266
Aufgabe 7	.....	270
Aufgabe 8	.....	272
Aufgabe 9	.....	275
Aufgabe 10	.....	280
Literaturverzeichnis	.....	283
Sachwortverzeichnis	.....	285